

# Das "Clausthaler Virtuelle Labor" des ITZ

Peter F. Elzer, Karl-H. Sauermann

Institut für Prozeß- und Produktionsleittechnik (IPP)  
Julius-Albert-Straße 6, D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über das instituts- und fachbereichsübergreifende virtuelle Labor, das im Rahmen des Informations-technischen Zentrums an der TU Clausthal eingerichtet wurde. In den ersten Abschnitten wird seine didaktische und wissenschaftliche Zielsetzung erläutert und die personelle und technische Gesamtstruktur dargestellt. Dann wird eine Auswahl von am IPP laufenden Arbeiten näher beschrieben, die für die Gesamtaufgabenstellung des virtuellen Labors relevant erscheinen. Abschließend werden noch einige der bisherigen Auswirkungen auf die Lehre diskutiert.

## 1 Motivation

Mit die wesentlichsten Auswirkungen der "Neuen Medien" und der Datennetze auf die zukünftige Arbeitswelt sind sowohl eine verstärkte Internationalisierung der Industrie als auch tiefgreifende Veränderungen in den Organisationsformen der Arbeit selbst. In der Industrie sind diesbezügliche Veränderungen schon in vollem Gange. Das wurde z.B. auf der Tagung der VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) in Baden-Baden [1] im Mai 2001 deutlich. Weiterhin ergeben sich durch die Verkürzung der Lebensdauerzyklen von Produkten und die zunehmende Notwendigkeit, die Produktion flexibel an Marktanforderungen anzupassen, auch höhere Anforderungen an Planungsgeschwindigkeit und -qualität von Fertigungsanlagen.

Um solche Aspekte möglichst frühzeitig in der universitären Lehre und Forschung berücksichtigen zu können, wurde im Rahmen des Informationstechnischen Zentrums (ITZ) der TU Clausthal (TUC) eine zukunftsweisende Einrichtung zur Unterstützung von Lehre und Forschung und als Dienstleistungsangebot für die Industrie geschaffen: ein instituts- und fachbereichsübergreifendes verteiltes virtuelles Labor für alle Aspekte der Planung und des Baues von Fabrikationsanlagen mit dem Arbeitstitel: **"Clausthaler Labor für Plant Design and Virtual Manufacturing"** (meist nur kurz "Clausthaler Virtuelles Labor" genannt) [2] [3] [4].

Es wurde anlässlich der Tage der Forschung der TU Clausthal im April 2001 der Öffentlichkeit vorgestellt [5].

## 2 Realisierung

Am Clausthaler Virtuellen Labor sind bisher sieben Institutionen aus verschiedenen Fachbereichen beteiligt:

1 Elektrische Energietechnik (IEE)	Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
2 Elektrische Informationstechnik (IEI)	Prof. Dr.-Ing. U. Konigorski
3 Informatik (IfI)	Prof. Dr. G. Joubert
4 Masch. Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB)	Prof. Dr.-Ing. U. Bracht
5 Maschinenwesen (IMW)	Prof. Dr.-Ing. N. Müller
6 Prozeß- und Produktionsleittechnik (IPP)	Prof. Dr.-Ing. P. Elzer
7 Rechenzentrum (RZ)	Dr. G. Lange

Sein Aufbau wurde teilweise aus Mitteln der Innovationsoffensive des Landes Niedersachsen (Az.: 14-77010/1/P 54) gefördert. Der in Abb. 1 dargestellte schematisierte Überblick veranschaulicht seine Struktur. Die beteiligten Institute sind untereinander mittels des Campusnetzes der TUC (100 MBit/sec) verbunden. Die Schnittstelle nach außen bildet der Zugang der TUC zum Deutschen Forschungsnetz (34 MBit/sec). Bei den einzelnen Instituten sind beispielhaft einige ihrer Arbeitsgebiete aufgeführt, die von besonderer Bedeutung für die Aufgabenstellung des gesamten Labors sind.

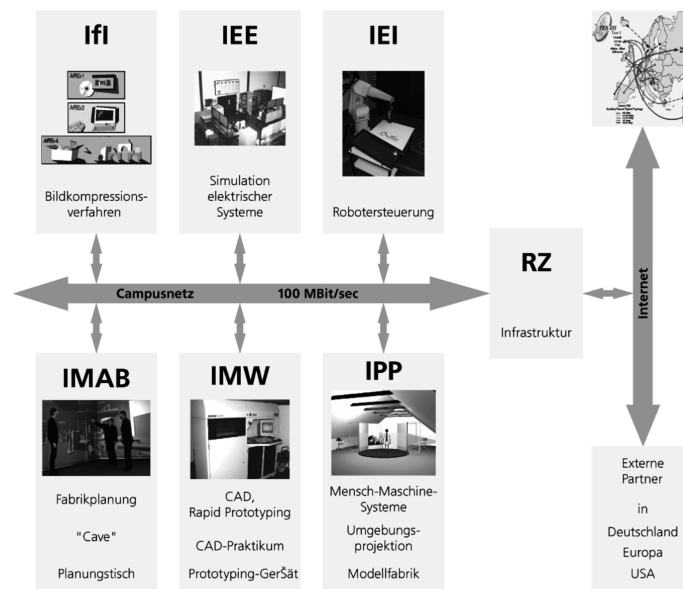


Abbildung 1: Struktur des Clausthaler Virtuellen Labors mit Beispielen der Anteile der einzelnen Institute an der Gesamtaufgabenstellung

Ein ganz wesentliches Merkmal des Clausthaler Virtuellen Labors, das es von anderen "virtuellen Laboren" unterscheidet, ist die Einbeziehung realer Versuchsanlagen wie z.B. für "Rapid Prototyping" oder aus den Gebieten der Fertigungs- oder der Verfahrenstechnik ( siehe Abschnitt 3.3 ). Damit können weitere praxisrelevante Themen untersucht werden, wie z.B. die Einbeziehung vorhandener Maschinen oder Komponenten in die Fabrikplanung, die netzgestützte Kopplung oder Fernsteuerung technischer Prozesse oder die Anwendung der "Computer Augmentierten Realität" (CAR).

Die dafür außer hochwertigen CAD-Arbeitsplätzen eingesetzten technischen Hilfsmittel aus den Gebieten Multi-Media (MM), Virtueller Realität (VR) und CAR sind:

- 1 2 Großprojektionsräume [einer als "CAVE" mit stereoskopischer Darstellung (Abb. 2), der andere als 180° Umgebungsprojektion mit Erzeugung des räumlichen Eindrucks durch Bewegungsparallaxe (Abb. 3)],
- 2 Workbench und Planungstisch (Abb. 4),
- 3 über Netz steuerbare Kamerasysteme (Abb. 5 und 6),
- 4 Head Mounted Displays für solche Darstellungsoptionen, die sich für Projektion schlecht eignen (Abb. 7 und 8), sowie
- 5 verschiedene Trackingsysteme, Force-Feedback-Eingabegeräte (Abb. 9), etc.



Abbildung 2: "CAVE" mit stereoskopischer Darstellung im IMAB

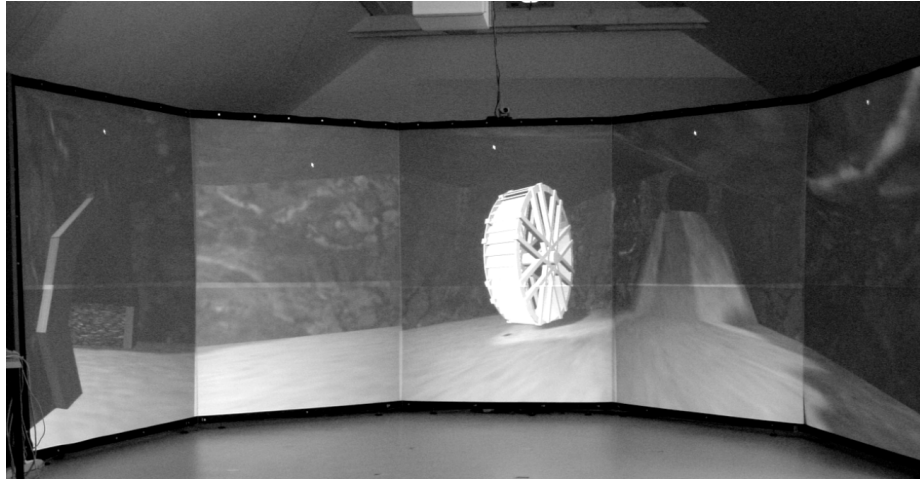


Abbildung 3: Umgebungsprojektion und Positionserkennung (zur Realisierung der Bewegungsparallaxe) im Integrationslabor des IPP

### 3 Arbeitsschwerpunkte

#### 3.1 Überblick

Folgende Themen werden im Rahmen des "Clausthaler Labors" bearbeitet:

- Modellerstellung vom Einzelteil bis zur kompletten Werkshalle,
- (Remote) Rapid Prototyping,
- Simulation von Materialfluss-, Produktions-, und Logistiksystemen,
- Planung von Bauvorhaben (Produktion und Sozialbereich),
- virtuelle Versuchsaufbauten mit der Möglichkeit der Fernsteuerung über Datennetz,
- Fernsteuerung realer Versuchsaufbauten mit Beobachtung über Kameras,
- Entwicklung und Erprobung neuartiger Leitwarten (speziell Großbildbasis),
- Visualisierung von Prozeßdaten,
- 3D-CAD – räumliche Darstellung (Stereoskopie),
- CAR zur Unterstützung von Wartung und Montage
- Kopplung der Modelle mit akustischen Signalen,
- begehbare virtueller Raum – Positionserkennung und Bewegungsbewertung des Operators,
- Echtzeitsimulation der Bedienerführung, Animation, Datenverwaltung,
- Echtzeitaspekte der Kopplung (z.B. Datentransfer und Komprimierung),
- Arbeitspsychologische Untersuchungen zu Aspekten von CSCW (= Computer Supported Cooperative Work) und der Arbeit in virtuellen Räumen.

Auf einige davon wird in den Abschnitten 3.2 bis 3.4 näher eingegangen.

Im Rahmen der genannten Themen können verschiedene Formen der netzgestützten Zusammenarbeit erprobt werden, wie z.B.:



- 1 Räumlich getrennte Arbeitsgruppen arbeiten gemeinsam am selben virtuellen Modell (z.B. einer Fabrik und den darin aufzustellenden Maschinen), wobei ihnen jederzeit der aktuelle Zustand des gesamten Modells gleichzeitig dargestellt wird.
- 2 Die Arbeitsgruppen arbeiten jeweils gemäß ihren Aufgaben an verschiedenen Komponenten oder speziellen Aspekten des Modells. Alle haben jedoch jederzeit Zugriff auf die Darstellung des aktuellen Zustands des gesamten Modells.
- 3 Einige Arbeitsgruppen arbeiten an realen Geräten oder Anlagen, andere an virtuellen Modellen. Die realen Anteile werden über Kameras erfaßt und in die virtuellen Anteile eingeblendet. Die entstehende Gesamtdarstellung steht wiederum allen zur Verfügung.
- 4 Die Formen 1 bis 3 werden durch Videokonferenzen ergänzt, die die lebensgroße Darstellung der zusammenarbeitenden Personen ermöglichen.

### 3.2 Rechnergestützte Produktentwicklung und Anlagenplanung

Dabei handelt es sich um Arbeitsgebiete, die an der TUC eine lange und erfolgreiche Tradition aufweisen. Ihre Ergebnisse sind auch durch eine große Zahl von Publikationen dokumentiert, so daß es sich an dieser Stelle erübrigt, näher auf ihre heutige große Bedeutung für die Industrie einzugehen. Interessenten seien auf einschlägige Veröffentlichungen des IMW [6] und des IMAB [7] [8] verwiesen.

Die im Rahmen des Clausthaler Virtuellen Labors zur Verfügung stehenden MM und VR-Techniken stellen jedoch einen entscheidenden Schritt zu einer weiteren Verbesserung der Situation auf diesen Gebieten dar. Sie tragen vor allem dazu bei, den Entwicklungsprozeß noch mehr zu beschleunigen und teure physische Modelle zu sparen. Zudem bieten sie in der Planungsphase bisher nie gekannte Gestaltungs-, Erlebnis- und Erkenntnismöglichkeiten. Davon ist eine wesentliche Steigerung der Planungsqualität und damit der Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit der mittels dieser Techniken entwickelten Systeme zu erwarten.

Wichtig ist auch, daß bereits in einer frühen Phase der Planung das Fachwissen einer Reihe von Spezialisten der unterschiedlichsten Fachrichtungen in das Produktionslayout einfließen kann. Als Werkzeug dafür steht z.B. am IMAB ein (kommerziell verfügbar) Planungstisch zur Verfügung. Der Vorteil dieses Systems (Abb. 4) besteht in der Darstellung/Umwandlung von zweidimensionalen Planungsunterlagen in eine dreidimensionale Darstellung, die, auf eine Leinwand projiziert, beim Betrachter den Eindruck erzeugt, ein physisches Modell der Anlage manipulieren zu können.

Die Planungskonzepte der Zukunft sehen schließlich in den darauf folgenden Planungsstufen die Modellierung der zu erzeugenden Objekte im Computer und deren möglichst realistische Darstellung auf Bildschirmen, in "Caves" (Abb. 2) oder Umgebungsprojektionen (Abb. 3) vor. Entwickler und Anwender haben damit die Möglichkeit, sich in den Modellen zu bewegen und damit zu interagieren, um Fehler zu erkennen und zu beseitigen.

Während des Entwicklungsprozesses von Anlagen müssen aber auch schon Aspekte ihrer späteren Inbetriebnahme, Steuerung, Wartung und Reparatur in die

Projektierung einfließen. Dies sind Arbeitsschwerpunkte des IPP und werden deshalb im folgenden etwas eingehender dargestellt.

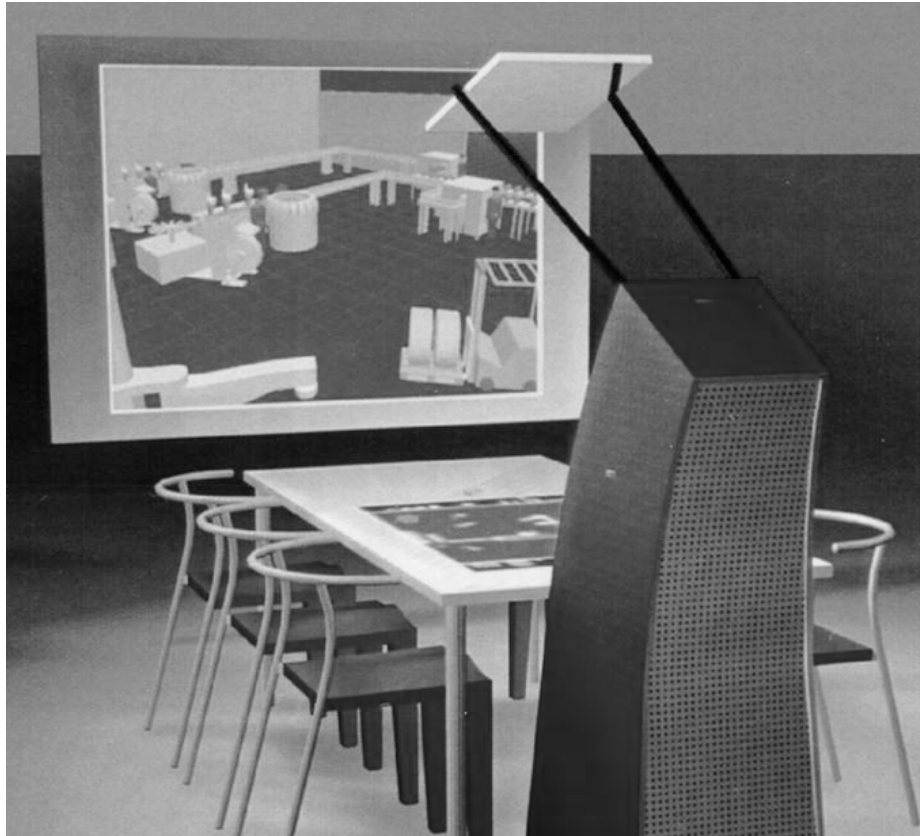


Abbildung 4: Planungstisch des IMAB

### 3.3 Überwachung und Steuerung von technischen Prozessen

Heutige technische Prozesse sind meist sehr komplex und hoch automatisiert. Ihre Steuerung und Überwachung geschieht weitgehend dezentral. Somit sind sie nicht ohne weiteres überschaubar. Dies führt z.B. beim regulären Betrieb - der laufenden Überwachung und Steuerung des Prozesses - dazu, daß das Bedienpersonal immer weniger in die "reale" Umgebung integriert wird. Zur Kompensation dieses Defizits, zur Erleichterung der Arbeit des Bedienpersonals - besonders bei großen Anlagen - und zur Vermeidung von Bedienfehlern werden mehr oder minder hochentwickelte Mensch-Maschine-Schnittstellen und Unterstützungssysteme eingesetzt. Deren Ziel ist es im allgemeinen, Fehler bei der Erkennung und Klassifikation von

Prozeßzuständen sowie Fehler bei der Planung und Ausführung der Prozeßeingriffe zu verringern und - soweit möglich - zu vermeiden. Ein Überblick über neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Schnittstellen findet sich in [9].

Die Handhabbarkeit und Wirksamkeit neuentwickelter Mensch-Maschine-Schnittstellen muß durch eingehende Versuche - "Usability-Tests" - erprobt und bewertet werden. Dafür stellt ein verteiltes Labor mit mehreren beteiligten Partnern ein hervorragendes Arbeitsmittel dar, da es die Teilnehmerbasis für solche Versuche deutlich verbreitert. Andererseits sind innerhalb des verteilten Labors Stellen nötig, an denen alle Techniken und Aspekte des Baues neuzeitlicher Mensch-Maschine-Schnittstellen integriert und erprobt werden können. Ein solches Integrationslabor wurde am IPP der TUC eingerichtet (Abb. 3).

Dieses Integrationslabor wurde auch genutzt, um neuartige Visualisierungsformen für die Führung eines sehr komplexen technischen Prozesses, des "Clausthaler Energieparks" [10] zu entwickeln. Dies geschah im Rahmen einer Dissertation [11] in Zusammenarbeit mit dem IEE. Abb. 5 zeigt eines der dabei entstandenen Bedieninterfaces. Dabei geht es insbesondere um die Erstellung von Tagesfahrplänen für die verschiedenen Energieträger und die Möglichkeit, bei Störungen korrigierend eingreifen zu können.

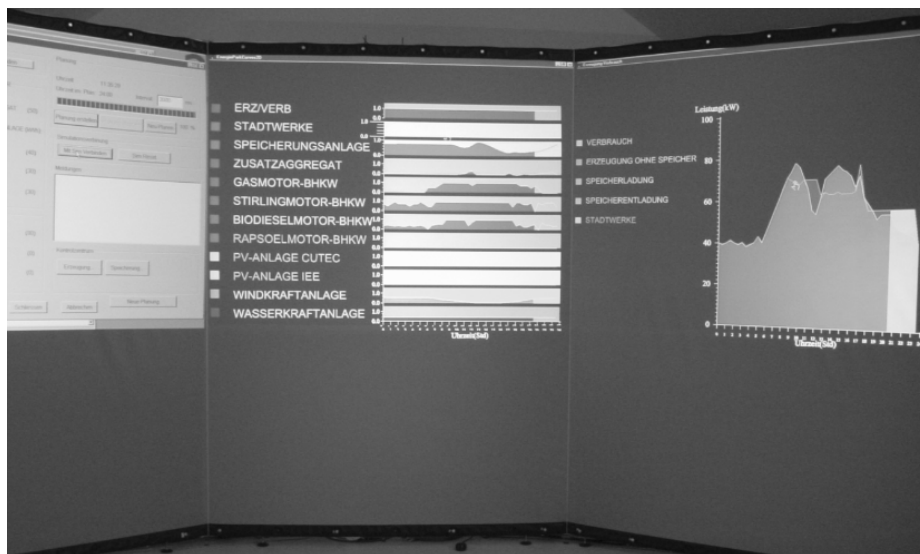


Abbildung 5: Benutzerinterface zur Überwachung und Fernbedienung des Clausthaler Energieparks

Wie schon eingangs erwähnt, ist die Fernüberwachung und -bedienung technischer Prozesse über das Internet ein hochaktuelles Thema für die industrielle Praxis. Dabei gibt es jedoch noch eine Reihe ungelöster Probleme, insbesondere in Bezug auf Sicherheit. Das legt es nahe, diesem Themenkomplex auch in Forschung und Lehre einen angemessenen Platz einzuräumen. Deshalb wurden sowohl am IPP als auch am

IEI Praktikumsversuche mit Fernbedienungseinrichtungen ausgestattet. Zur Überwachung dienen fernbedienbare Kameras. Im IPP handelt es sich dabei um eine Wasserentsalzungsanlage, im IEI um einen Handhabungsautomaten. Abb. 6 zeigt das nach klassischen Methoden gestaltete Bedieninterface der Wasserentsalzungsanlage, Abb. 7 das Interface der Überwachungskamera, Abb. 8 das über das Netz verfügbare Kamerabild des Handhabungsautomaten am IPP. Daß diese Technik nicht nur auf Entfernungen innerhalb des Campus der TUC beschränkt ist, konnte dadurch demonstriert werden, daß es schon vor einiger Zeit gelang, einen Handhabungsautomaten in Australien (University of Western Australia) von Clausthal aus zu steuern [12] und die Wasserentsalzungsanlage am IPP von der Universität Loughborough in England aus.

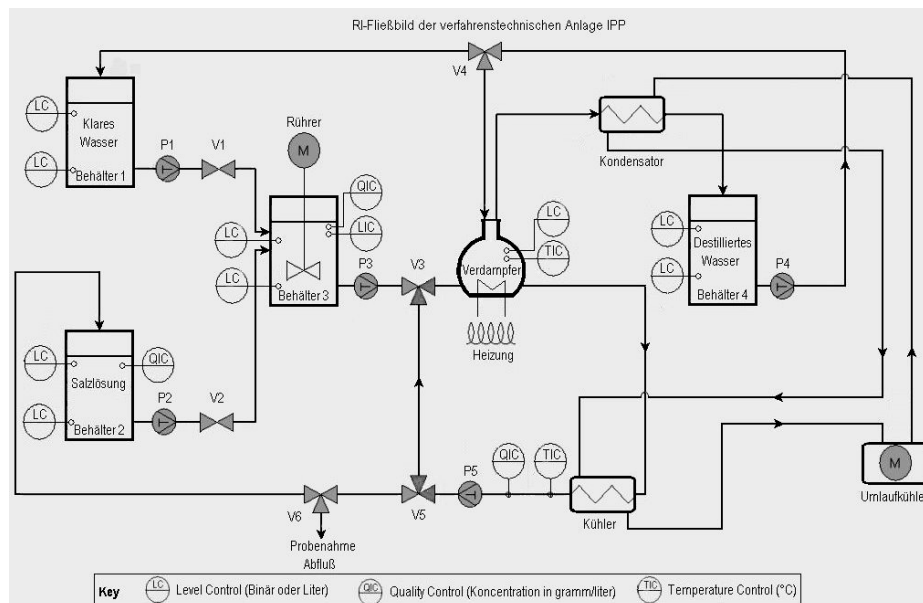


Abbildung 6: Das Bedieninterface (übliches verfahrenstechnisches Schema) zur Fernbedienung der Wasserentsalzungsanlage am IPP

Bei der Fernbedienung technischer Systeme oder der Zusammenarbeit räumlich getrennt arbeitender Teammitglieder an einem Modell kommt es aber auch auf die Übertragung von Information an, die nicht optischer Natur ist. Während dies bei akustischer Information noch mit einigermaßen befriedigender Qualität möglich ist, bestehen bei den übrigen Sinneskanälen erhebliche Defizite. Geruchs- und Geschmacksreize sowie Bewegungseindrücke lassen sich noch nicht praxistauglich übermitteln. Lediglich beim Tastsinn erscheint durch den Einsatz von Eingabegeräten mit Kraftrückkopplung (Abb. 9) eine Lösung in Reichweite. Am IPP laufen deshalb auch entsprechende Untersuchungen.

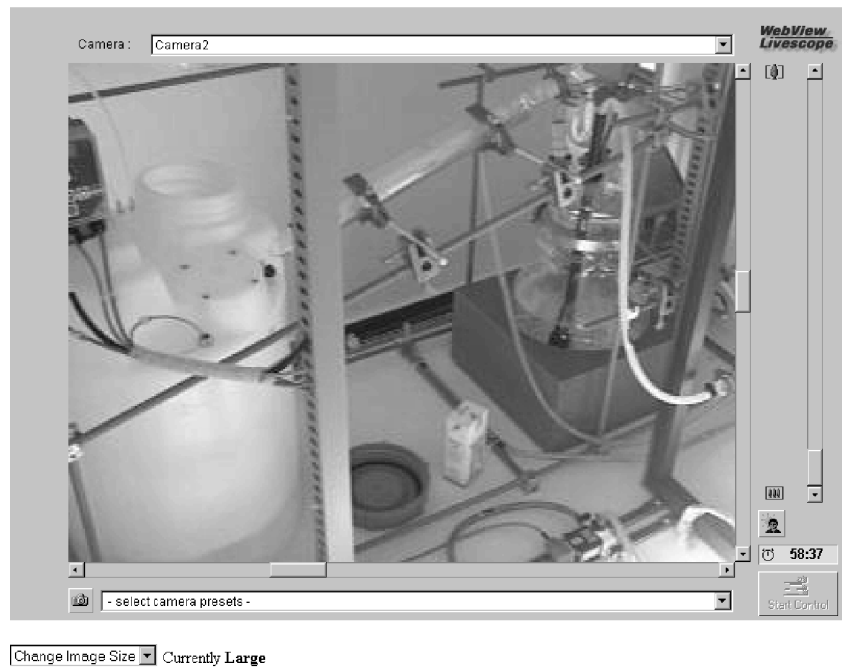


Abbildung 7: Das Bedieninterface einer der beiden Überwachungskameras in diesem Versuch

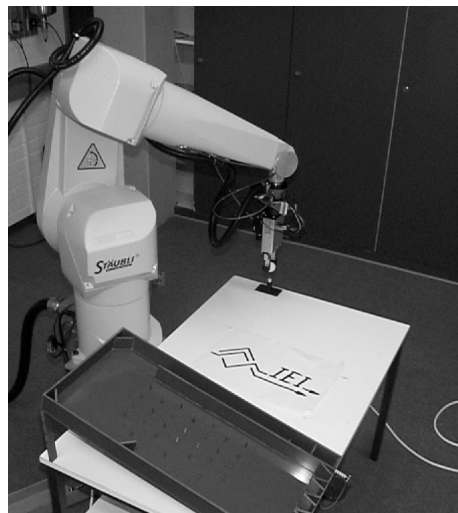


Abbildung 8: Fernüberwachung und -bedienung eines Handhabungsautomaten am IEI



Abbildung 9: Einige am IPP verfügbare Eingabegeräte mit Krafrückkopplung

### 3.4 Inbetriebnahme und Wartung

Bei der Inbetriebnahme bzw. beim An- und Abfahren von Anlagen (z.B. für Wartungszwecke) werden hohe Anforderungen an die Beteiligten - die Anlagenbauer und das eigentliche Bedienpersonal der Anlage - gestellt. So werden manchmal Planungsfehler erst bei der Inbetriebnahme entdeckt, da Betriebszustände, in denen sie sich auswirken könnten, bei Planung und Bau u.U. nicht vorhersehbar waren. Dies kann durch die Nutzung von Simulationstechniken vermieden werden. Ein entsprechender Simulator muß aber nicht "vor Ort" vorhanden sein, sondern kann über das Internet zugeschaltet werden.

Ein anderer Fall ist die Bereitstellung des Anfahrpersonals für eine neu errichtete Anlage. Sie bedarf umfangreicher planerischer und organisatorischer Vorbereitungen. Dies gilt auch, wenn die Anlage vor bzw. nach regelmäßigen Wartungsarbeiten ab bzw. angefahren werden muß. Diese Vorgänge sind eine schwierige und langwierige Angelegenheit und nicht ohne Risiko.

Der Schulung des Bedienpersonals kommt dabei eine vitale Bedeutung für den erfolgreichen Verlauf zu. Dies gilt besonders, wenn das Bedienpersonal ohne Unterstützung des Anlagenbauers zum ersten Mal auf sich selbst angewiesen ist. Hier ist von einer intensiven Kopplung - unter Ausnutzung aller Möglichkeiten des Internets - zwischen Inbetriebnahme- und Entwicklungsmannschaft eine wesentliche Verbesserung der Situation zu erwarten.

Um das Potential von CAR-Techniken für die Unterstützung von Reparatur- und Wartungsarbeiten in verschiedenen Arbeitssituationen zu erproben, wurden am IPP einige Versuchsinstallationen entwickelt. Eine davon wurde auf der "Interkama" 1999 und in weiterentwickelter Form auf der Hannovermesse 2000 vorgestellt. Abb. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel.

Diese Techniken eignen sich auch hervorragend für Schulung und Training von Montage- und Reparaturtätigkeiten, allerdings nur für Komponenten, die die Größe eines Bildschirms nicht wesentlich übersteigen. Bei größeren Objekten muß man zu einer interaktiven Darstellung mit Großbildschirm übergehen.



Abbildung 10: Wartung mit CAR-Hilfe



Abbildung 11: Räumliche Darstellung mit Hilfe von Bewegungsparallaxe

## 4 Bedeutung für die Lehre

Vom Einsatz des Clausthaler Virtuellen Labors wird eine wesentliche Steigerung der Qualität von Lehre und Forschung im Bereich "Virtual Design and Manufacturing" erwartet. Ziel ist es, alle Arbeitsprozesse vom Entwurf von Maschinen und Anlagen über Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Kommunikation bis hin zu energetischen Bilanzen zu unterstützen und gleichzeitig die Möglichkeit einer "on-line virtuellen Erprobung" der Ergebnisse zu ermöglichen.

Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, Studierenden technischer Disziplinen schon im Rahmen von Praktika, Studien- und Diplomarbeiten den Einstieg in zukunftsorientierte, industrielle Planungsverfahren zu ermöglichen.

Jedoch auch im "normalen" Vorlesungsbetrieb ergaben sich inzwischen Vorteile durch die Verwendung fortgeschrittener Präsentationstechniken.

So hatte sich bei den am IPP seit WS 1998/99 abgehaltenen Multi-Media gestützten Vorlesungen ein Nachteil gegenüber der "klassischen" herausgestellt, der Ergonomen seit langem bekannt war: das Lesen am Bildschirm ist erheblich schwieriger als das einer Papiervorlage. Außerdem ist aus der Leitwartentechnik seit Jahrzehnten bekannt, dass die Zwangssequentialisierung beim Auffassen von Inhalten durch den "Ein-Fenster-charakter" der bisherigen Projektionstechnik im Hörsaal zu einer deutlichen Überlastung des menschlichen Kurzzeitgedächtnisses führt.

Während der Vorlesungen konnte dieser Fenstereffekt durch die Mehrfachprojektion inzwischen behoben werden. Im Prinzip handelt es sich dabei um die gleiche Methode, wie sie seit Jahrzehnten bei Leitwarten in der Industrie verwendet wird: *parallele* Darstellung zusammengehöriger Sachverhalte auf mehreren Bildschirmen. Damit ist auch eine alte Forderung erfahrener Lehrer erfüllt: Bereitstellung einer Wandtafel von genügender Breite. Wie in Abbildung 12 gezeigt, können mit Hilfe eines kommerziell verfügbaren Zusatzgerätes damit vom Vortragenden auch spontan Querbezüge zwischen sonst isolierten Einzelfakten aufgezeigt werden. Dies wurde von den Studierenden sofort sehr positiv vermerkt. Am Institut wird deshalb inzwischen an einem vergleichbaren Arbeitsplatz für die Vorlesungsvorbereitung und das Lernen gearbeitet.

"Last, but not least" sei noch erwähnt, daß es die Verfügbarkeit einer Umgebungsprojektion mit Positionserkennung möglich gemacht hat, eine völlig neuartige Lehrveranstaltung anzubieten: studentische Arbeitsgemeinschaften, in denen Installationen entwickelt werden können, die künstlerischen Charakter tragen und dem Kreativitätstraining der Studierenden dienen. Eine davon, ein "interaktives Environment" oder "begehbare Weltall" [13] wird in einem anderen Artikel in diesem Heft näher dargestellt.





Abbildung 12: Vorlesung mit Mehrfachprojektion

## 5 Schlussbemerkungen

Mit der Einrichtung des "Clausthaler Labors" wurde gezeigt, daß es auch an einer kleineren Universität möglich ist, durch Bündelung von Ressourcen eine Einrichtung zur Unterstützung von Forschung und Lehre zu schaffen, die im nationalen und internationalen Vergleich voll wettbewerbsfähig ist. Sie erlaubt es den beteiligten Wissenschaftlern, innovative Beiträge zu wirtschaftlich relevanten Themen wie der digitalen Fabrik, Rapid Prototyping, vernetzte Unternehmensführung, sicheren Mensch-Maschine-Systemen, etc. zu liefern. Besonders wichtig ist die Möglichkeit, Studierende schon in relativ frühen Semestern in diesen zukunftsorientierten Techniken zu üben. Dies wird durch die Integration dieser Einrichtung in den regulären Lehrbetrieb gewährleistet.

Ein weiterer besonderer Akzent des "Clausthaler Labors" ist seine bereits in der Konzeption angelegte Internationalität. So konnten beispielsweise langjährige Kontakte zu den Universitäten von Loughborough und Durham in Großbritannien genutzt werden, die schon im Rahmen des von der EU geförderten COPES-Projektes [14] zu gemeinsamen Arbeiten führten. Mit anderen Forschungsstellen in Europa laufen schon seit einigen Jahren Verhandlungen in Bezug auf gemeinsame Projekte. Kopplungsversuche in die USA verliefen überraschend ermutigend, wenn dabei auch die reale Zeitdifferenz der Dauer der Zusammenarbeitsphasen natürliche Grenzen setzt.

## Literaturverzeichnis

- [1] Elzer, P.F., Sauer mann, K.-H.: Virtuelles Labor für Fabrikplanung, GMW-Tagung „Virtueller Campus“. Wagner, E., Kindt, M.: Medien in der Wissenschaft, Band 14, Hildesheim, 18.-20. Sept. (2001) 257-265.
- [2] Elzer, P. F., Sauer mann, K.-H.: Ein verteiltes Labor für Fabrikplanung und virtuelle Fertigung. In: Automatisierungstechnik im Spannungsfeld neuer Technologien. Tagung Baden-Baden, 22./23. Mai 2001/ VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. VDI-Berichte Nr.1608, S.485-492. VDI-Verlag, Düsseldorf (2001).
- [3] Elzer, P. F., Behnke, R., Sauer mann, K.-H., Simon, A. : Aufbau eines Europäischen Virtuellen Labors für Entwurf, Überwachung und Steuerung von technischen Prozessen. 15. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze, Düsseldorf, Juni 2001.
- [4] Elzer, P., Sauer mann K.-H.: Das Clausthaler Labor für „Plant Design and Virtual Manufacturing“ P. Hollecze k (Hrsg.): PEARL 2001: Workshop über Realzeitsysteme, Fachtagung der GI-Fachgruppe 4.4.2 Echtzeitprogrammierung PEARL, Springer Verlag, Boppard/Rhein 22.-23.11.2001, 11-18
- [5] Goslar sche Zeitung vom 22.09.2001
- [6] Goltz, M., Müller, D., Müller, N.: PDM/PLM - Verwaltung von Produktdaten ohne Grenzen. ITZ-Berichte 2003, Band 1, Heft 4
- [7] Bracht U.: Ansätze und Methoden der Digitalen Fabrik. Eröffnungsvortrag im Tagungsband „Simulation und Visualisierung 2002“, 28.02 und 01.03. Uni Magdeburg
- [8] Bracht U., Masurat T.: VR-Großprojektion für die Digitale Fabrik- und Anlagenplanung. Im Tagungsband: 8. Symposium Simulation, 11.-13.März 2002
- [9] Elzer P.: Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Schnittstellen at – Automatisierungstechnik, Bd. 49, Heft 1 (2001), 15-29
- [10] Beck H.-P.: Jahresbericht des IEE der TUC 2000, Anlage 2, 85-87
- [11] Mankay A.J. M’Buy: *Management elektrischer Energieversorgung bei Einsatz eines Mix von Primärenergieträgern*, Dissertation TUC 2003; im Druck
- [12] Elzer P., Friz H., Behnke R.: A Direct Manipulation User Interface for a Telerobot on the Internet HCI International ’99, 22.-26-08.1999, München
- [13] Elzer P., Reindl L.: Bau eines interaktiven Environments „begehbare s Weltall“ als studentisches Projekt, ITZ-Berichte 2003, Band 1, Heft 4
- [14] Grethe, V.: Netzwerk für zukünftige Kooperationen - COPES führt europäische Wissenschaftler nach Clausthal. IMW-Institutsmitteilungen, Nr. 23, S. 153 - 154, Clausthal (1998).